

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of :
Keiichi TAKANASHI et al. :
Serial No. NEW : **Attn: Application Branch**
Filed May 31, 2001 : **Attorney Docket No. 2001-0689A**

APPARATUS FOR PULLING A SINGLE
CRYSTAL

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Assistant Commissioner for Patents,
Washington, DC 20231

Sir:

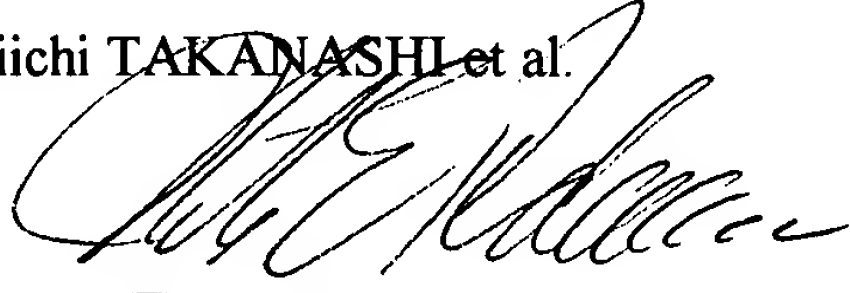
Applicants in the above-entitled application hereby claim the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. J.P.A. 161371/2000, filed May 31, 2000, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Keiichi TAKANASHI et al.

By


Nils E. Pedersen
Registration No. 33,145
Attorney for Applicants

NEP/krl
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
May 31, 2001

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT
ACCOUNT NO. 23-0975

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

5
JC868 U.S. PTO
09/867628
05/31/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2000年 5月31日

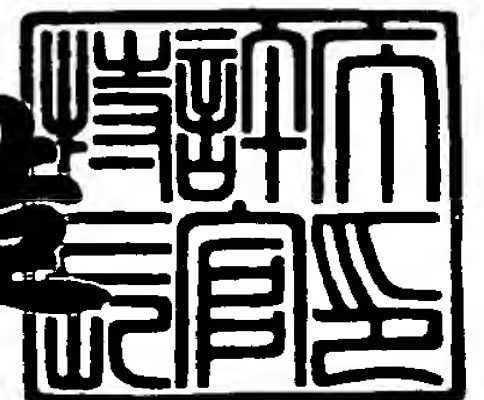
出願番号
Application Number: 特願2000-161371

出願人
Applicant(s): 住友金属工業株式会社

2001年 4月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3027246

【書類名】 特許願

【整理番号】 SIH20002

【提出日】 平成12年 5月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 C30B 15/00

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

 【氏名】 高梨 啓一

【発明者】

 【住所又は居所】 佐賀県杵島郡江北町大字上小田2201番地
住友金属工業株式会社シチックス事業本部内

 【氏名】 前田 徳次

【発明者】

 【住所又は居所】 佐賀県杵島郡江北町大字上小田2201番地
住友金属工業株式会社シチックス事業本部内

 【氏名】 濱田 建

【特許出願人】

 【識別番号】 000002118

 【氏名又は名称】 住友金属工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100096080

 【弁理士】

 【フリガナ】 竹内 リュウジ

 【氏名又は名称】 井内 龍二

 【電話番号】 0725-21-4440

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 015990

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9813679

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 単結晶引き上げ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ルツボの昇降駆動手段と、単結晶の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出して前記昇降駆動手段を制御してルツボ内の液面位置を制御する液面位置制御手段とが装備された単結晶引き上げ装置において、

チャンバ内に配設される基準反射体と、

該基準反射体が融液表面に写った鏡像位置をチャンバ外に配設された光学機器にて検出することにより実際の液面位置を測定する液面位置測定手段と、

該液面位置測定手段の出力をもとに前記ルツボ上昇速度の補正値を算出するルツボ上昇速度補正値算出手段と、

前記ルツボ上昇速度に前記補正値を加算する補正値加算手段と、

該補正値加算手段からの出力に基づいて前記昇降駆動手段を制御してルツボ上昇速度を制御することによりルツボ内の液面位置を制御する前記液面位置制御手段とを備えていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項 2】 引き上げ中の結晶径、前記液面位置測定手段により測定された液面位置、結晶と前記基準反射体との間の距離、及びルツボ回転速度をもとに、前記ルツボ上昇速度への前記補正値の加算可否を判定する補正値加算可否判定手段を備えていることを特徴とする請求項 1 記載の単結晶引き上げ装置。

【請求項 3】 前記液面位置測定手段により測定された液面位置を平均化処理する平均化処理手段を備えていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の単結晶引き上げ装置。

【請求項 4】 前記液面位置測定手段を構成する前記光学機器が、結晶直径測定用の光学機器と兼用されていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかの項に記載の単結晶引き上げ装置。

【請求項 5】 初期位置からルツボ位置を自動的に昇降させて前記基準反射体の融液表面上での鏡像位置と液面位置との関係を求め、その関係を直線近似することにより前記基準反射体の融液表面上での鏡像位置を実際の液面位置に換算

する換算式を自動的に算出する自動校正手段を備えていることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかの項に記載の単結晶引き上げ装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は単結晶引き上げ装置に関し、より詳細にはチョコラルスキー法（以下、CZ法と記す）に代表される引き上げ法により、シリコン等からなる単結晶を引き上げる際に使用される単結晶引き上げ装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

現在、LSI（大規模集積回路）等の回路素子形成用基板の製造に使用されているシリコン単結晶の大部分は、CZ法により引き上げられている。図3は、このCZ法に用いられる従来の単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、図中21はルツボを示している。

【 0 0 0 3 】

このルツボ21は、有底円筒形状をした石英製ルツボ21aと、この石英製ルツボ21aの外側に嵌合された、同じく有底円筒形状をした黒鉛製ルツボ21bとから構成されており、ルツボ21は、図中の矢印A方向に所定の速度で回転する支持軸28に支持されている。このルツボ21の外側には、抵抗加熱式のヒータ22、ヒータ22の外側には保温筒27が同心円状に配置されており、ルツボ21内には、このヒータ22により溶融させた結晶用原料の溶融液23が充填されるようになっている。また、ルツボ21の中心軸上には、引き上げ棒あるいはワイヤー等からなる引き上げ軸24が吊設されており、この引き上げ軸24の先に、保持具24aを介して種結晶35が取り付けられている。また、これら部材は、圧力の制御が可能な水冷式のチャンバ29内に納められている。

【 0 0 0 4 】

チャンバ29の高さ方向中間部には窓29aが形成され、窓29aの斜め上方には、一次元CCDカメラ11が窓29aを介して引き上げ中の単結晶36を望める位置に配置されており、この一次元CCDカメラ11は単結晶36の直径測

定手段 8 に接続されている。直径測定手段 8 はルツボ上昇速度算出部 9 に接続されており、ルツボ上昇速度算出部 9 は引き上げられた単結晶 3 6 の直径測定手段 8 からの入力値と、引き上げ軸 2 4 の引き上げ手段 5 からの引き上げ長の情報とを取り込んで、ルツボ 2 1 内の減少した融液体積を算出しており、この減少した融液体積を元にルツボ 2 1 の上昇速度を算出している。

【 0 0 0 5 】

上記した単結晶引き上げ装置を用いて単結晶 3 6 を引き上げる方法を、図 3 及び図 4 に基づいて説明する。図 4 (a) ~ (d) は、単結晶を引き上げる各工程のうちの一部の工程における、種結晶の近傍を模式的に示した部分拡大正面図である。

【 0 0 0 6 】

図 4 には示していないが、まずチャンバ 2 9 内を減圧した後、不活性ガスを導入してチャンバ 2 9 内を減圧の不活性ガス雰囲気とし、その後ヒータ 2 2 により結晶用原料を溶融させ、しばらく放置して溶融液 2 3 中のガスを十分に放出させる。

次に、支持軸 2 8 と同一軸心で逆方向に所定の速度で引き上げ軸 2 4 を回転させながら、保持具 2 4 a に取り付けられた種結晶 3 5 を降下させて溶融液 2 3 に着液させ、種結晶 3 5 の先端部を溶融液 2 3 に馴染ませた後、単結晶 3 6 の引き上げを開始する（シーディング工程）（図 4 (a) ）。

【 0 0 0 7 】

次に、種結晶 3 5 の先端に結晶を成長させてゆくが、このとき後述するメインボディ 3 6 c の形成速度よりも早い速度で引き上げ軸 2 4 を引き上げ、所定径になるまで結晶を細く絞り、ネック 3 6 a を形成する（ネッキング工程）（図 4 (b) ）。

次に、引き上げ軸 2 4 の引き上げ速度（以下、単に引き上げ速度とも記す）を落してネック 3 6 a を所定の径まで成長させ、ショルダー 3 6 b を形成する（ショルダー形成工程）（図 4 (c) ）。

次に、一定の速度で引き上げ軸 2 4 を引き上げるにより、一定の径、所定長さのメインボディ 3 6 c を形成する（メインボディ形成工程）（図 4 (d) ）

【 0 0 0 8 】

さらに、図4には示していないが、最後に急激な温度変化により単結晶36に高密度の転位が導入されないよう、単結晶36の直径を徐々に絞って単結晶36全体の温度を徐々に降下させ、終端コーンを形成した後、単結晶36を溶融液23から切り離す。前記工程の後冷却して単結晶36の引き上げが完了する。

【 0 0 0 9 】

単結晶36の引き上げの際には、良質の単結晶36を得るため、ルツボ昇降用モータ10にて支持軸28を駆動してルツボ21を上昇させ、ヒータ22に対して融液面が常に一定の位置に保持されるようにルツボ21の位置を制御する必要がある。このルツボ上昇制御においては一般的に引き上げられた単結晶36の体積から減少した溶融液23の体積を算出してルツボ21の上昇量を算出する方法が用いられている。

【 0 0 1 0 】

【発明が解決しようとする課題】

上記したルツボ上昇制御は引き上げた単結晶36の体積から減少した溶融液23の体積を算出してルツボ21の上昇量を算出するため、引き上げた単結晶36の体積を正確に把握する必要がある。また減少した溶融液23の体積から正確なルツボ上昇量を算出するには正確なルツボ内径が必要となる。しかし、実際の引き上げにおいては結晶重量、結晶直径の測定誤差、引き上げ中の石英製ルツボ21aの軟化による石英製ルツボ21aの内径の変化、石英製ルツボ21aの製作ばらつきに起因するバッチごとの石英製ルツボ21aの内径の変化により前記ルツボ上昇制御に誤差が含まれる。そのため単結晶36の引き上げ中に液面位置を実際に測定して制御する必要がある。

【 0 0 1 1 】

上記問題点を解決するための液面位置測定方法が特開昭63-281022号公報に開示されている。この液面位置測定方法は融液表面に写った輻射スクリーンの鏡像の位置から液面位置を算出するものである。この方法により結晶引き上げ中の液面位置の測定が可能である。

前記公報開示の方法と同様に、融液表面に写った輻射スクリーンの鏡像位置をもとに液面位置を制御する方法が特開平 7 - 2 7 7 8 7 9 号公報に開示されている。この方法では輻射スクリーンの鏡像位置を一定にするようにルツボを昇降させ、液面位置が一定になるように制御している。

【 0 0 1 2 】

しかしながらこれらの方法では、輻射スクリーンの鏡像が写っている融液表面が傾くと、その影響を受けて実際には液面位置が変化しなくても鏡像位置が変化して液面位置が誤って認識制御されてしまう。融液表面を傾けてしまう要因としては結晶径の変動、ルツボ回転速度の変化がある。そのため、輻射スクリーンの鏡像位置のみで液面位置を制御すると結晶径の変動、ルツボ回転速度の変化に伴い誤差が発生する。

【 0 0 1 3 】

特に問題となるのは種結晶から結晶径を目標直径まで増加させるショルダー形成工程であり、該ショルダー形成工程では融液表面の傾きが結晶径の増加に従って増加し、ショルダー形成工程において輻射スクリーンの鏡像位置を一定にする液面位置制御を行うと、ショルダー形成工程の前後では実際の液面位置は変化してしまうこととなる。

同様の誤差はメインボディ形成工程時の結晶径の変動でも発生する。また、輻射スクリーンの融液表面での鏡像位置のみで液面位置制御を実施すると、液面位置の測定に異常が発生した場合はルツボ 2 1 の昇降制御が行えなくなるという課題があった。

【 0 0 1 4 】

本発明は上記課題に鑑みなされたものであって、石英製ルツボ容積のバッチごとの変動や石英製ルツボの熱変形にかかわらず、融液面を所定の位置に保持することによって、育成される単結晶に対する不活性ガスの流れ、チャンバ内圧力、温度環境を常に一定の状態に保ち、高品質の単結晶を引き上げることができる単結晶引き上げ装置を提供することを目的としている。

【 0 0 1 5 】

【課題を解決するための手段及び効果】

上記目的を達成するために、本発明に係る単結晶引き上げ装置（１）は、ルツボの昇降駆動手段と、単結晶の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出して前記昇降駆動手段を制御してルツボ内の液面位置を制御する液面位置制御手段とが装備された単結晶引き上げ装置において、チャンバ内に配設される基準反射体と、該基準反射体が融液表面に写った鏡像位置をチャンバ外に配設された光学機器にて検出することにより実際の液面位置を測定する液面位置測定手段と、該液面位置測定手段の出力をもとに前記ルツボ上昇速度の補正値を算出するルツボ上昇速度補正値算出手段と、前記ルツボ上昇速度に前記補正値を加算する補正値加算手段と、該補正値加算手段からの出力に基づいて前記昇降駆動手段を制御してルツボ上昇速度を制御することによりルツボ内の液面位置を制御する前記液面位置制御手段とを備えていることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

上記単結晶引き上げ装置（１）によれば、前記液面位置制御手段により、単結晶の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出して前記昇降駆動手段を制御してルツボ内の液面位置を制御する一方、前記基準反射体と、前記液面位置測定手段と、前記ルツボ上昇速度補正値算出手段と、前記補正値加算手段とを備え、前記液面位置制御手段が前記補正値加算手段からの出力に基づいて前記昇降駆動手段を制御してルツボ上昇速度を制御するので、例え石英製ルツボがシリコンの融点付近で軟化して引き上げ中に変形することがあったとしても、ルツボ内の液面位置を高精度に制御することができる。

【 0 0 1 7 】

また、本発明に係る単結晶引き上げ装置（２）は、上記単結晶引き上げ装置（１）において、引き上げ中の結晶径、前記液面位置測定手段により測定された液面位置、結晶と前記基準反射体との間の距離、及びルツボ回転速度をもとに、前記ルツボ上昇速度への前記補正値の加算可否を判定する補正値加算可否判定手段を備えていることを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

上記単結晶引き上げ装置（２）によれば、引き上げ中の結晶径、前記液面位置測定手段により測定された液面位置、結晶と前記基準反射体との間の距離、及び

ルツボ回転速度をもとに、前記補正值加算可否判定手段が前記補正值を前記ルツボ上昇速度に加算すべきか否かを判定する。これらの項目は主に単結晶引き上げ工程における融液表面の傾きを決定する要因である。引き上げ条件により判定用設定値を満たさない状態では融液表面の傾きが液面位置測定に適さない状態であり、その測定結果に融液表面の傾きの影響が多く含まれていることを示している。その場合は前記液面位置測定手段から算出された前記補正值を前記ルツボ上昇速度に加算しない。しかもこのように基準反射体が融液表面に写った鏡像位置をチャンバ外に配設された光学機器にて検出することにより実際の液面位置を測定することに問題がある場合でも、単結晶の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出して前記昇降駆動手段を制御してルツボ内の液面位置を制御する制御は実施されるため、前記補正值を前記ルツボ上昇速度に加算しないことによる液面位置変動への影響は最小限に抑えることができる。

【 0 0 1 9 】

また、本発明に係る単結晶引き上げ装置（３）は、上記単結晶引き上げ装置（１）又は（２）において、前記液面位置測定手段により測定された液面位置を平均化処理する平均化処理手段を備えていることを特徴としている。

上記単結晶引き上げ装置（３）によれば、融液表面の揺らぎの影響を除去することが可能である。前記基準反射体が融液表面に写った鏡像位置をチャンバ外に配設された前記光学機器にて検出することにより、実際の液面位置を測定する際の他の誤差要因としては、前記融液表面の揺らぎがある。測定中に融液表面が揺らぐと測定ばらつきを生じる。その融液表面の揺らぎの影響は、前記液面位置測定手段により測定された液面位置を平均化処理する前記平均化処理手段の作用により除去可能である。その平均化処理時間は１分～３０分程度の間で設定することが望ましい。

【 0 0 2 0 】

また、本発明に係る単結晶引き上げ装置（４）は、上記単結晶引き上げ装置（１）～（３）のいずれかにおいて、前記液面位置測定手段を構成する前記光学機器が、結晶直径測定用の光学機器と兼用されていることを特徴としている。

上記単結晶引き上げ装置（４）によれば、前記液面位置測定手段を構成する前

記光学機器と、結晶直径測定用の光学機器との兼用により単結晶引き上げ装置の製造コストを低く抑えることができる。

【 0 0 2 1 】

また、本発明に係る単結晶引き上げ装置（５）は、上記単結晶引き上げ装置（１）～（４）のいずれかにおいて、初期位置からルツボ位置を自動的に昇降させて前記基準反射体の融液表面上での鏡像位置と液面位置との関係を求め、その関係を直線近似することにより、前記基準反射体の融液表面上での鏡像位置を実際の液面位置に換算する換算式を自動的に算出する自動校正手段を備えていることを特徴としている。

前記基準反射体の鏡像位置を検出する前記光学機器の設置位置と前記基準反射体の設置位置とのばらつきも液面位置測定に関する測定誤差要因となる。これらの設置状況が変化しなければ事前に幾何学的な配置から算出された換算式をもとに前記基準反射体の鏡像位置から液面位置を正確に算出可能であるが、それは実際には困難である。そのため実際に設置した状況における前記基準反射体の鏡像位置と液面位置との換算式が必要となる。上記単結晶引き上げ装置（５）によれば、前記換算式の算出作業を自動化する前記自動校正手段を備えており、この自動校正手段を用いて結晶引き上げ前に自動的に前記換算式を求めておくことが可能となっている。

【 0 0 2 2 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る単結晶引き上げ装置の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図１は、実施の形態に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、図中２１は上下方向に移動可能なルツボを示している。このルツボ２１は、有底円筒形状をした石英製ルツボ２１ａと、この石英製ルツボ２１ａの外側に嵌合された、同じく有底円筒形状をした黒鉛製ルツボ２１ｂとから構成されており、ルツボ２１は、図中の矢印Ａ方向に所定の速度で回転する支持軸２８に支持されている。このルツボ２１の外側には、抵抗加熱式のヒータ２２、ヒータ２２の外側には保温筒２７が同心円状に配置されており、ルツボ２１内には、このヒータ

22により溶融させた結晶用原料の溶融液23が充填されるようになっている。
また、ルツボ21の中心軸上には、引き上げ棒あるいはワイヤー等からなる引き上げ軸24が吊設されており、この引き上げ軸24の先に、保持具24aを介して種結晶35が取り付けられている。また、これら部材は、圧力の制御が可能な水冷式のチャンバ29内に納められている。

【0023】

チャンバ29の高さ方向中間部には窓29aが形成され、窓29aの斜め上方には、一次元CCDカメラ11が窓29aを介して引き上げ中の単結晶36を望める位置に配置されており、この一次元CCDカメラ11は単結晶36の直径測定手段8及び液面位置測定手段13に接続されている。この一次元CCDカメラ11は溶融液23の液面位置の測定とともに単結晶36の直径測定用としても機能している。液面位置の測定には一次元CCDカメラ11に代えて2次元CCDカメラを採用しても差し支えない。また直径測定手段8のための一次元CCDカメラ11とは別に液面位置の測定専用のCCDカメラを設置しても差し支えない。

【0024】

チャンバ29内におけるルツボ21の上方には、液面位置を検出するための基準反射体12が配置されており、この基準反射体12は引き上げられた単結晶36の熱履歴を調整する輻射スクリーンの機能も備えている。この基準反射体12は単結晶36の直胴部から22mm以上離れた位置に設置されている。また、この基準反射体12を輻射スクリーンとは別体とすることも可能である。

【0025】

一次元CCDカメラ11は直径測定手段8に接続され、直径測定手段8はルツボ上昇速度算出部9に接続されており、ルツボ上昇速度算出部9は引き上げられた単結晶36の直径測定手段8からの入力値と、引き上げ軸24の引き上げ手段5からの引き上げ長の情報とを取り込んで、ルツボ21内の減少した融液体積を算出しており、この減少した融液体積を元にルツボ21の上昇速度を算出している。

【0026】

一次元CCDカメラ11には直径測定手段8の他に、液面位置測定手段13も接続されており、液面位置測定手段13は一次元CCDカメラ11の出力を受けて、溶融液23の融液面23aに写った基準反射体12の鏡像から液面位置を算出するようになっている。液面位置測定手段13には平均化处理手段14及び自動校正手段18が接続されており、平均化处理手段14は液面位置測定手段13からの出力を受けてこの測定値を所定の時間において平均化处理を施しており、この所定の時間としては、1分～30分程度の間で設定することが望ましい。

【0027】

自動校正手段18はルツボ21を初期位置から自動的に昇降させて基準反射体12の融液面23a上での鏡像位置と液面位置との関係を求め、その関係を直線近似することにより、基準反射体12の融液面23a上での鏡像位置を実際の液面位置に換算する換算式を自動的に算出する手段である。基準反射体12の鏡像位置を検出する一次元CCDカメラ11の設置位置と基準反射体12の設置位置のばらつきも液面位置測定における測定誤差要因となる。これらの設置状況が変化しなければ事前に幾何学的な配置から算出された換算式をもとに基準反射体12の鏡像位置から液面位置の算出が可能であるが、それは実際には困難である。そのため実際に設置した状況における基準反射体12の鏡像位置と液面位置との換算式を自動校正手段18により求めておく。本実施の形態においては原料の溶融が完了し、初期の液面位置が安定した後にルツボ21を昇降させることにより実際に液面位置を変化させ、基準反射体12の鏡像位置と液面位置との関係を直線近似させて自動校正手段18により換算式を求めておく。その際のルツボ21の昇降範囲は初期位置に対して±5mmで設定することが望ましい。

【0028】

平均化处理手段14にはルツボ上昇速度補正值算出手段15が接続されており、ルツボ上昇速度補正值算出手段15はルツボ上昇速度算出部9において算出されたルツボ上昇速度で制御される場合に生ずる液面位置の制御誤差を補正する補正值を算出するようになっている。その算出方法は結晶引き上げ中に以下で述べる補正值加算可否判定手段16で加算可能と判断された最初の時点での液面位置の測定値を初期位置とし、その後はその初期位置からずれた液面位置を算出して

ルツボ上昇速度の補正値を算出する。

【 0 0 2 9 】

ルツボ上昇速度補正値算出手段 1 5 には液面位置の測定異常を判定する補正値加算可否判定手段 1 6 が接続されており、この補正値加算可否判定手段 1 6 における判定基準としては結晶径の上下限値が単結晶 3 6 のメインボディ 3 6 c ねらい直径 $\pm 2 \text{ mm}$ 、液面位置の上下限値が液面位置初期値から $\pm 5 \text{ mm}$ 、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離の下限値が 22 mm 、ルツボ 2 1 の回転速度の上下限値が単結晶 3 6 のメインボディ 3 6 c 引き上げ開始時におけるルツボ 2 1 の回転速度の $\pm 10 \text{ rpm}$ の範囲である。これらの条件を満たさない場合には、ルツボ上昇速度算出部 9 において計算されたルツボ 2 1 の上昇速度にルツボ上昇速度補正値算出手段 1 5 において算出された補正値を補正値加算手段 1 7 において加算させない。

【 0 0 3 0 】

本実施の形態における設定においては単結晶 3 6 のショルダー 3 6 b の引き上げ時には、上記の結晶径の上下限値が単結晶 3 6 のメインボディ 3 6 c ねらい直径 $\pm 2 \text{ mm}$ の条件を満たさないため、液面位置制御はルツボ上昇速度算出部 9 において算出されたルツボ上昇速度に基づいて行われることとなる。しかし単結晶 3 6 のショルダー 3 6 b はその体積が非常に小さく、それによる液面位置の制御誤差を非常に小さい範囲に納めることができる。

【 0 0 3 1 】

上記構成により、実施の形態に係る単結晶引き上げ装置においては、単結晶 3 6 の引き上げ中における液面位置の制御に、単結晶 3 6 の引き上げに伴う熔融液 2 3 の減少量に基づいたルツボ上昇速度と、基準反射体 1 2 の融液面 2 3 a での鏡像位置から測定された液面位置の測定結果に基づいたルツボ上昇速度補正値算出手段 1 5 からの出力の 2 系統を有することとなる。

【 0 0 3 2 】

実施の形態に係る単結晶引き上げ装置においては、一系統として、単結晶 3 6 の結晶径の測定値と単結晶 3 6 の引き上げ速度とからルツボ 2 1 の上昇速度を算出して液面位置を制御している。そのルツボ上昇速度の算出は下記の数 (1) 式

に基づいて行われる。

$$V_f = (D_{Si}^2 P_s / D_{cur}^2 P_L) \times (V_{Si} - V_{cur}) + V_{cur} \quad \cdots (1)$$

V_f : ルツボ上昇速度
 P_s : シリコン固体比重
 P_L : シリコン融液比重
 D_{Si} : 結晶直径
 D_{cur} : 石英製ルツボ内径
 V_{Si} : 結晶引き上げ速度
 V_{cur} : 前回のルツボの上昇速度

このように、このルツボ上昇速度算出には石英製ルツボ 2 1 a の内径の正確な値が必要である。しかし石英製ルツボ 2 1 a はシリコンの融点付近では軟化し、引き上げ中に変形することがある。そこで実施の形態に係る単結晶引き上げ装置においては、チャンバ 2 9 内に設置した基準反射体 1 2 の融液面 2 3 a での鏡像位置から液面位置を測定し、溶融液 2 3 の減少量から算出したルツボ上昇速度による液面位置制御の制御誤差を算出する。そしてその制御誤差の算出からルツボ 2 1 の上昇速度の補正値を算出し、前記ルツボ上昇速度に加算することにより液面位置をより高精度に制御する。そのルツボ上昇速度補正値の算出を下記の数 (2) 式に基づいて行う。

$$V \text{ (mm/min)} = V_f \text{ (mm/min)} + V_{adj} \text{ (mm/min)} \quad \cdots (2)$$

$$V_{adj} = \sum \Delta V_{adj}(i)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{adj}(i) = & P \times \{ H_i \text{ (mm)} - H_{i-1} \text{ (mm)} \} + I \times \{ H_i \text{ (mm)} - H_0 \text{ (mm)} \} \\
 & + D \times \{ H_i \text{ (mm)} - 2H_{i-1} \text{ (mm)} + H_{i-2} \text{ (mm)} \}
 \end{aligned}$$

V : 液面位置変動補正後のルツボ上昇速度
 V_{adj} : ルツボ上昇速度補正値

V_f : ルツボ上昇速度
 H_0 : 基準液面位置
 H_i : i 回目の液面位置測定値
 P, I, D : 制御定数
 P_S : シリコン固体比重
 P_L : シリコン融液比重

しかしここで基準反射体 1 2 の融液面 2 3 a での鏡像位置から液面位置測定に誤差が含まれる場合がある。測定誤差の主原因は融液面 2 3 a の傾きにある。測定中に融液面 2 3 a の傾きが変化すると融液面 2 3 a に写り込んだ基準反射体 1 2 の鏡像位置が変化し、液面位置の測定に誤差を生じる。その融液面 2 3 a の傾きは 2 つの要因により変化する。

【 0 0 3 3 】

第一の要因は引き上げ中の単結晶 3 6 による表面張力である。結晶引き上げ中はその表面張力により融液面 2 3 a は持ち上げられて傾く。その傾きは単結晶 3 6 近傍の融液面 2 3 a ほど大きく、単結晶 3 6 から離れると小さくなる。そのため、結晶引き上げ中の基準反射体 1 2 の鏡像位置は、結晶径が大きくなるほど融液面 2 3 a の傾きの影響を大きく受けることとなる。ただし、同一融液面 2 3 a 上での融液面 2 3 a の傾きは単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との距離が一定であれば変化しない。そのため結晶引き上げ中の融液面 2 3 a の傾き変化による液面位置の測定誤差は、結晶径の変動と引き上げ中の結晶位置の変化の影響を受けることとなる。

【 0 0 3 4 】

融液面 2 3 a の傾きを変化させる第二の要因としては、ルツボ 2 1 の回転に伴い生じる遠心力の影響がある。ルツボ 2 1 が回転すると内部の溶融液 2 3 も一緒に回転するため、その遠心力で溶融液 2 3 は外周部に押しやられるため、融液面 2 3 a は傾くこととなる。この傾きは主に溶融液 2 3 の回転速度で決まるため、引き上げ中にルツボ 2 1 の回転速度が変化すると融液面 2 3 a の傾きが変化し、基準反射体 1 2 の鏡像位置も変化することとなる。

【 0 0 3 5 】

そこで実施の形態における装置のルツボ 2 1 の上昇速度の補正值加算可否判定手段 1 6 においては、融液面 2 3 a の傾きの変化による測定誤差が許容値以下となるように融液面 2 3 a の傾きを変化させる要因である結晶径の上下限設定値、液面位置の上下限值、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離の下限設定値、ルツボ 2 1 の回転速度の上下限設定値をもとに補正值の加算の可否を判定する。

【 0 0 3 6 】

また、液面位置の測定に関する他の誤差要因としては融液面 2 3 a の揺らぎがある。測定中に融液面 2 3 a が揺らぐと測定にばらつきを生じる。その融液面 2 3 a の揺らぎの影響は液面位置の測定値を平均化処理する平均化処理手段 1 4 の働きにより除去可能である。その平均化処理時間は 1 分～30 分程度の間で設定することが妥当である。

【 0 0 3 7 】

また、基準反射体 1 2 の鏡像位置を検出する一次元 CCD カメラ 1 1 の設置位置と基準反射体 1 2 の設置位置とのばらつきも液面位置測定への測定誤差要因となる。これらの設置状況が変化しなければ、事前に幾何学的な配置から算出された換算式をもとに基準反射体 1 2 の鏡像位置から液面位置の算出が画一的に可能であるが、実際には困難である。そのため、一次元 CCD カメラ 1 1 と基準反射体 1 2 とを実際に設置した状況における基準反射体 1 2 の鏡像位置と液面位置との換算式が必要となる。その換算式はルツボ 2 1 を上下に昇降させ、液面位置を変化させることにより求めることができる。本実施の形態に係る単結晶の引き上げ装置では前記換算式の算出作業を自動化する自動校正手段 1 8 を備えており、自動校正手段 1 8 を用いて単結晶 3 6 の引き上げ前に自動的に前記換算式を求めておくことが可能となっている。

【 0 0 3 8 】

基準反射体 1 2 は融液面 2 3 a の上方にあって、融液面 2 3 a に近接する構造物であるので、溶融液 2 3 を汚染せず、高温にも耐えられる素材で構成する必要がある。この基準反射体 1 2 の構成材料としては、例えばカーボンを挙げることができる。また単結晶 3 6 との距離が、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距

離の下限設定値以上の距離で確保できるのであれば、単結晶 3 6 の熱履歴を制御するための輻射スクリーンを基準反射体 1 2 として用いることも可能である。

【 0 0 3 9 】

また基準反射体 1 2 の鏡像位置を測定する光学機器としては通常の 2 次元 C C D カメラ、1 次元 C C D カメラ等を使用することができる。ここで結晶引き上げ中に結晶直径を一次元 C C D カメラ 1 1 にて測定している場合で、その測定視野内に基準反射体 1 2 を設置した場合には、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離の下限設定値以上の距離を確保できるのであれば、結晶直径測定用の一次元 C C D カメラ 1 1 を液面位置測定用として使用することも可能である。

【 0 0 4 0 】

次に実施の形態に係る単結晶引き上げ装置の液面位置制御手段 2 0 が行う動作を図 2 に示したフローチャートに基づいて説明する。

まず、ステップ S 1 において、原料の溶融が完了したか否かを判断する。ステップ S 1 において、原料の溶融が完了していないと判断すると、原料の溶融を待ち、他方、原料の溶融が完了したと判断すると、ステップ S 2 に進んでルツボ 2 1 を初期位置から $\pm 5 \text{ mm}$ の範囲内で昇降させる。次にステップ S 3 に進んでルツボ 2 1 の昇降に伴い変化する基準反射体 1 2 の鏡像位置の変化から鏡像位置と液面位置との換算式を求める。

【 0 0 4 1 】

換算式が求まると単結晶 3 6 の引き上げを開始する（ステップ S 4）。引き上げの開始に伴い、引き上げ軸 2 4 の引き上げ速度及び結晶径の測定値を取り込み（ステップ S 5）、これらの値に基づいてルツボ 2 1 の上昇速度を上記数（1）式から算出する（ステップ S 6）。次に、チャンバ 2 9 内に設置した基準反射体 1 2 の融液面 2 3 a での鏡像位置から液面位置を算出し（ステップ S 7）、この液面位置の算出値に平均化処理を施し（ステップ S 8）、平均化処理を施した測定値からルツボ 2 1 の上昇速度の補正値を上記数（2）式に基づいて算出する（ステップ S 9）。

【 0 0 4 2 】

次にステップ S 1 0 に進んで、ステップ S 9 において算出した補正値の前記ル

ツボ 2 1 の上昇速度への加算の可否を判断する。この判断は上記した結晶径の上下限値がメインボディ 3 6 c の目標直径の $\pm 2 \text{ mm}$ の範囲、液面位置の上下限値が初期液面位置から $\pm 5 \text{ mm}$ の範囲、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離の下限値が 22 mm 、ルツボ回転速度の上下限値がメインボディ 3 6 c 形成時初期のルツボ回転速度の $\pm 10 \text{ rpm}$ の範囲であるか否かに基づいて行う。ステップ S 1 0 において、補正值の前記ルツボ 2 1 の上昇速度への加算可と判断すると、ステップ S 1 1 に進んで補正值の加算を実行した後、この補正された値に基づいてルツボ 2 1 の上昇速度を制御する（ステップ S 1 2）。他方、ステップ S 1 0 において補正值の前記ルツボ 2 1 の上昇速度への加算否と判断すると、ステップ S 1 1 をとばしてステップ S 1 2 に進み、ステップ S 6 において算出された値に基づいてルツボ 2 1 の上昇速度を制御する。

【 0 0 4 3 】

上記した実施の形態に係る単結晶引き上げ装置によれば、液面位置制御手段 2 0 により、単結晶 3 6 の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出してルツボ昇降用モータ 1 0 を制御してルツボ 2 1 内の液面位置を制御することができ、さらに、基準反射体 1 2 と、液面位置測定手段 1 3 と、ルツボ上昇速度補正值算出手段 1 5 と、補正值加算手段 1 7 とを備え、液面位置制御手段 2 0 が補正值加算手段 1 7 からの出力に基づいてルツボ昇降用モータ 1 0 を制御してルツボ上昇速度を制御するので、例えば石英製ルツボ 2 1 a がシリコンの融点付近で軟化して引き上げ中に変形することがあったとしても、石英製ルツボ 2 1 a 内の液面位置をより高精度に制御することができる。

【 0 0 4 4 】

また上記実施の形態に係る単結晶引き上げ装置によれば、引き上げ中の単結晶 3 6 の結晶径、液面位置測定手段 1 3 により測定された液面位置、単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離、及びルツボ回転速度をもとに、補正值加算可否判定手段 1 6 が前記補正值を前記ルツボ上昇速度に加算することが妥当か否かを判定する。これらの項目は主に単結晶引き上げ装置にて融液面 2 3 a の傾きを決定する要因である。従って引き上げ条件により判定用設定値を満たさない状態では融液面 2 3 a の傾きが液面位置測定に適さない状態であり、その測定結果に融液

面 2 3 a の傾きの影響が多く含まれていることを示している。その場合は液面位置測定手段 1 3 から算出された前記補正值を前記ルツボ上昇速度に加算しない。しかもこのように基準反射体 1 2 が融液面 2 3 a に写った鏡像位置をチャンバ 2 9 外に配設された一次元 CCD カメラ 1 1 にて検出することにより、実際の液面位置を測定することに問題がある場合でも、単結晶 3 6 の引き上げに伴い減少する融液体積をもとにルツボ上昇速度を算出してルツボ昇降用モータ 1 0 を制御してルツボ 2 1 内の液面位置を制御する制御は実施されるため、液面位置変動への影響を最小限に抑えることができる。

【 0 0 4 5 】

また上記実施の形態に係る単結晶引き上げ装置によれば、融液面 2 3 a の揺らぎの影響を除去することが可能である。基準反射体 1 2 が融液面 2 3 a に写った鏡像位置をチャンバ 2 9 外に配設された一次元 CCD カメラ 1 1 にて検出することにより、実際の液面位置を測定する液面位置測定の際の他の誤差要因としては、融液面 2 3 a の揺らぎがある。測定中に融液面 2 3 a が揺らぐと測定値にばらつきを生じる。その融液面 2 3 a の揺らぎの影響を、液面位置測定手段 1 3 により測定された液面位置を平均化処理する平均化処理手段 1 4 の作用により除去している。

【 0 0 4 6 】

また上記実施の形態に係る単結晶引き上げ装置によれば、液面位置測定手段 1 3 を構成する一次元 CCD カメラ 1 1 と、結晶直径測定用の一次元 CCD カメラ 1 1 との兼用により単結晶引き上げ装置の製造コストを低く抑えることができている。また上記実施の形態に係る単結晶引き上げ装置によれば、実際に設置した状況における基準反射体 1 2 の鏡像位置と液面位置との換算式の算出作業を自動化する自動校正手段 1 8 を備えており、この自動校正手段 1 8 を用いて結晶引き上げ前に自動的に前記換算式を求めることが可能となっている。

【 0 0 4 7 】

【実施例】

以下、本発明の実施例に係る単結晶引き上げ装置を使用して実際に液面位置制御を実施した例を説明する。

実施例に係る単結晶引き上げ装置 図 1 に示した装置

ルツボ 2 1 の内径： 2 2 インチ

単結晶原料の重量： 1 0 0 k g

単結晶 3 6 の平均径： 8 インチ

基準反射体 1 2 と単結晶 3 6 のメインボディ 3 6 c との距離： 2 2 m m 以上

平均化处理手段 1 4 における平均化处理時間： 1 0 分間

補正值加算可否判定手段 1 6 における判定基準

：結晶径の上下限値がメインボディ 3 6 c の目標直径の

± 2 m m の範囲

：液面位置の上下限値が初期液面位置から ± 5 m m の範囲、

：単結晶 3 6 と基準反射体 1 2 との間の距離の下限値が 2 2 m m、

：ルツボ回転速度の上下限値がメインボディ 3 6 c 形成時初期の

ルツボ回転速度の ± 1 0 r p m の範囲

原料の溶融が完了し、初期液面位置が設定された後にルツボ 2 1 を昇降させることにより実際に液面位置を変化させ、基準反射体 1 2 の鏡像位置と液面位置との関係を直線近似することにより、自動校正手段 1 8 により、換算式を求めた。その際のルツボ 2 1 の昇降範囲は初期位置に対して ± 5 m m の範囲で設定した。

【 0 0 4 8 】

また、本実施例の設定においては、ショルダー 3 6 b の引き上げ時には上記結晶径の上下限値の条件を満たさないため、液面位置制御はルツボ上昇速度算出部 9 からの出力に基づいて行われた。しかしショルダー 3 6 b はその体積が非常に小さく、それによる液面位置の制御誤差は非常に小さいものであった。

本実施例においては、単結晶 3 6 の引き上げ中の液面位置を初期液面位置に対して ± 1 m m の範囲内で制御可能なことを確認することができた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態に係る単結晶引き上げ装置の概略を示す断面図である。

【図 2】

実施の形態に係る単結晶引き上げ装置における液面位置制御手段の動作を示すフローチャートである。

【図 3】

従来の単結晶引き上げ装置の概略を示す断面図である。

【図 4】

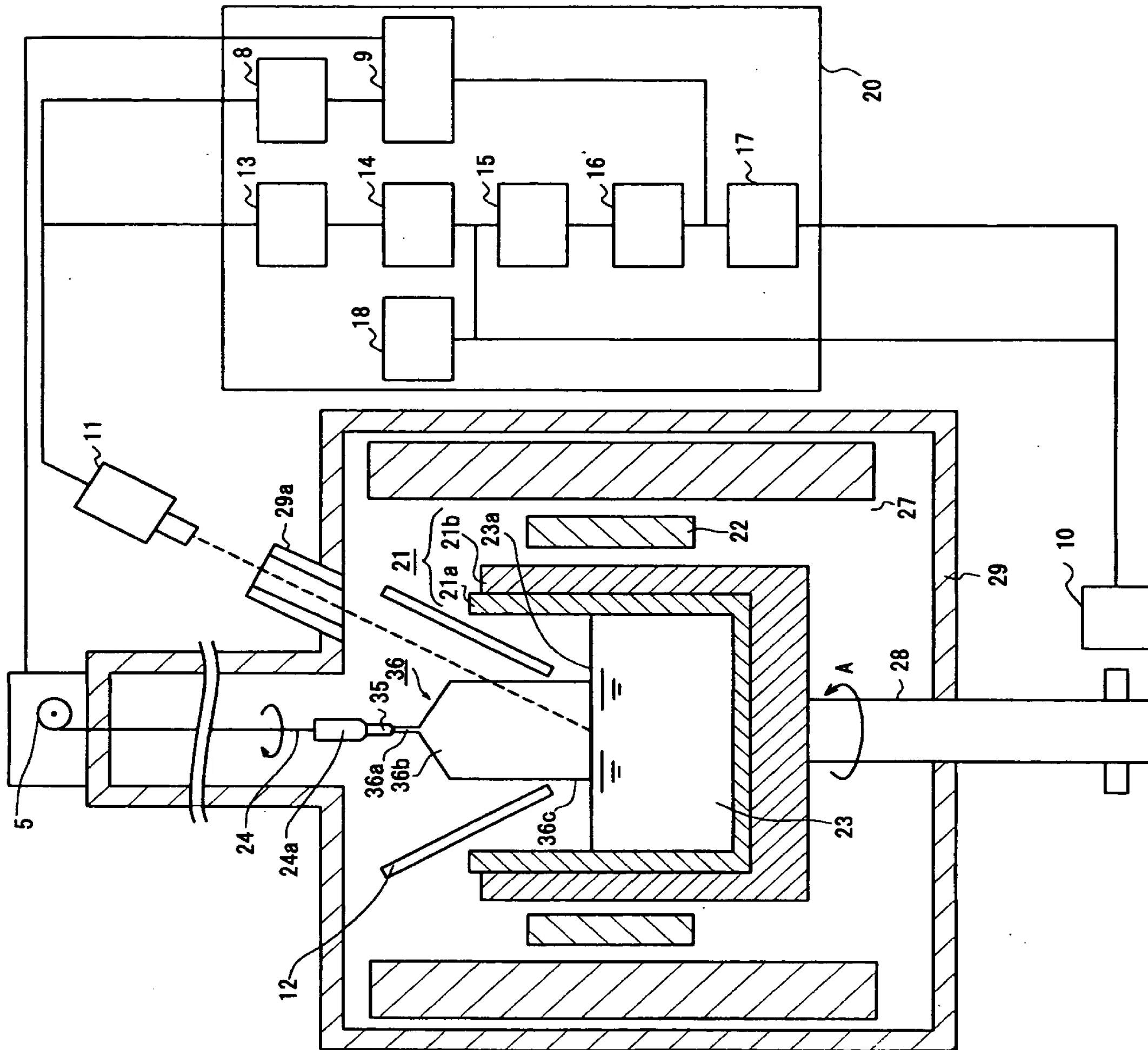
(a) ～ (d) は、単結晶を引き上げる各工程のうちの一部の工程における、種結晶の近傍を模式的に示した部分拡大正面図である。

【符号の説明】

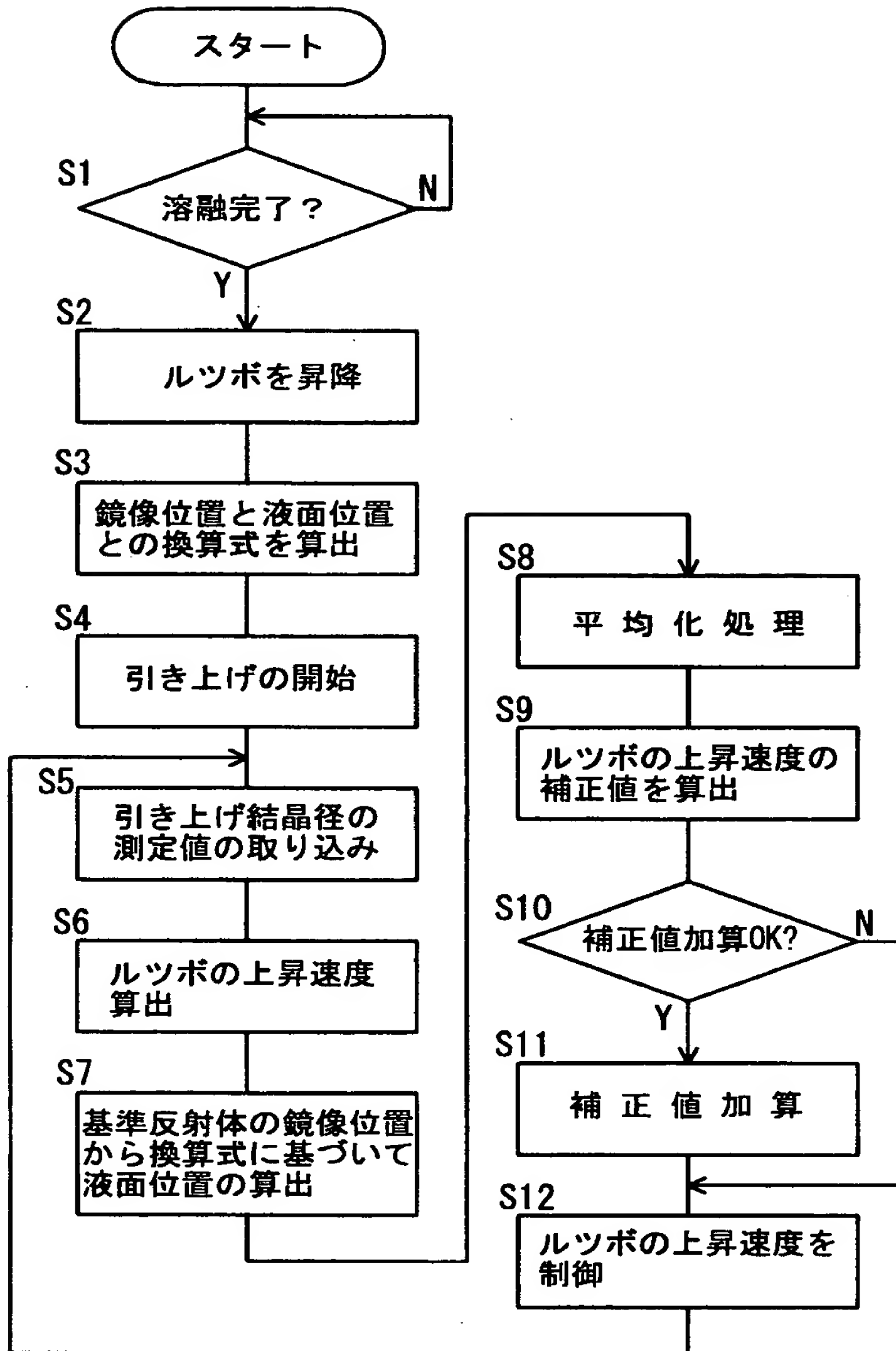
- 1 0 ルツボ昇降用モータ
- 1 1 一次元 CCD カメラ
- 1 2 基準反射体
- 1 3 液面位置測定手段
- 1 4 平均化処理手段
- 1 5 ルツボ上昇速度補正值算出手段
- 1 6 補正值加算可否判定手段
- 1 7 補正值加算手段
- 1 8 自動校正手段

【書類名】 図面

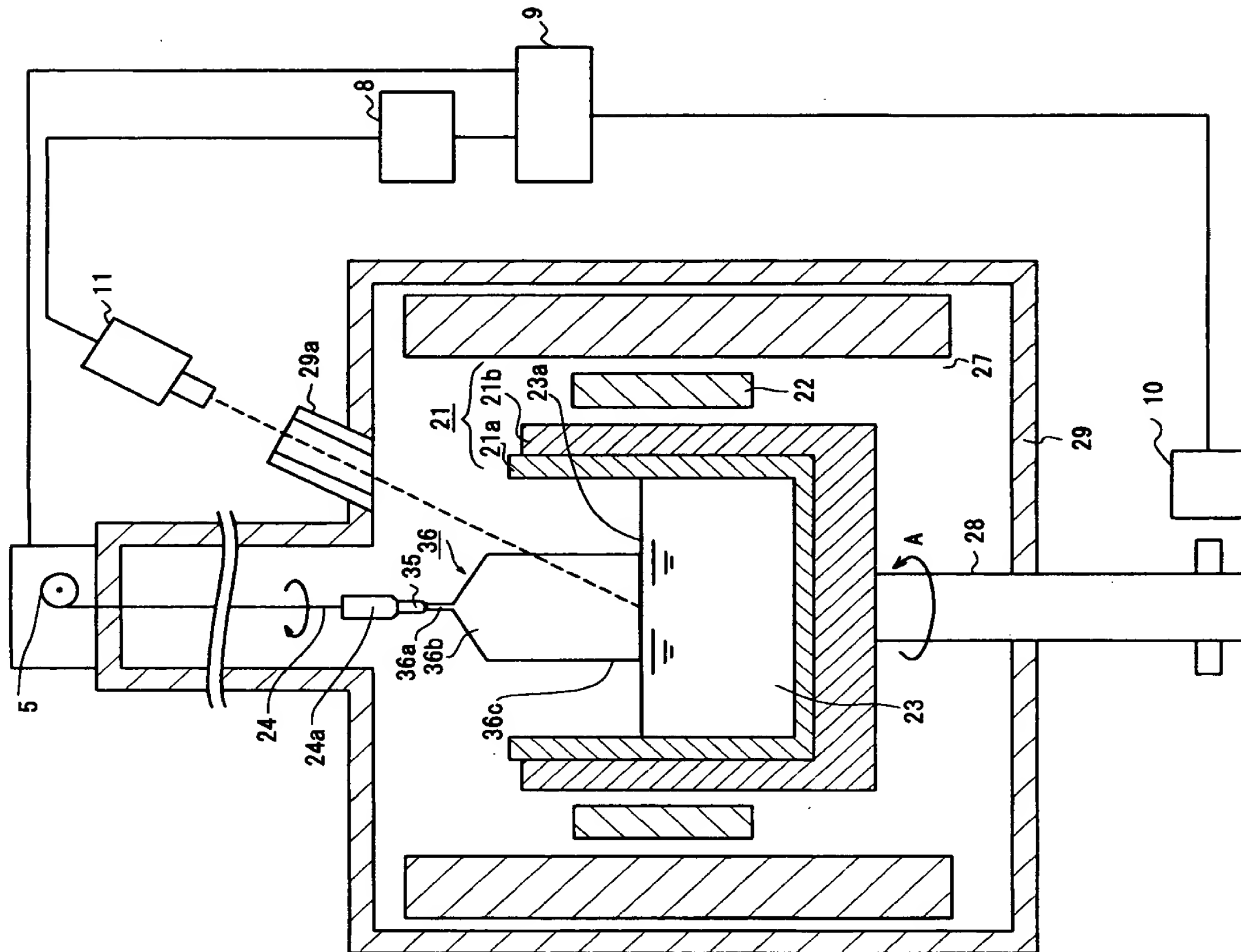
【図 1】



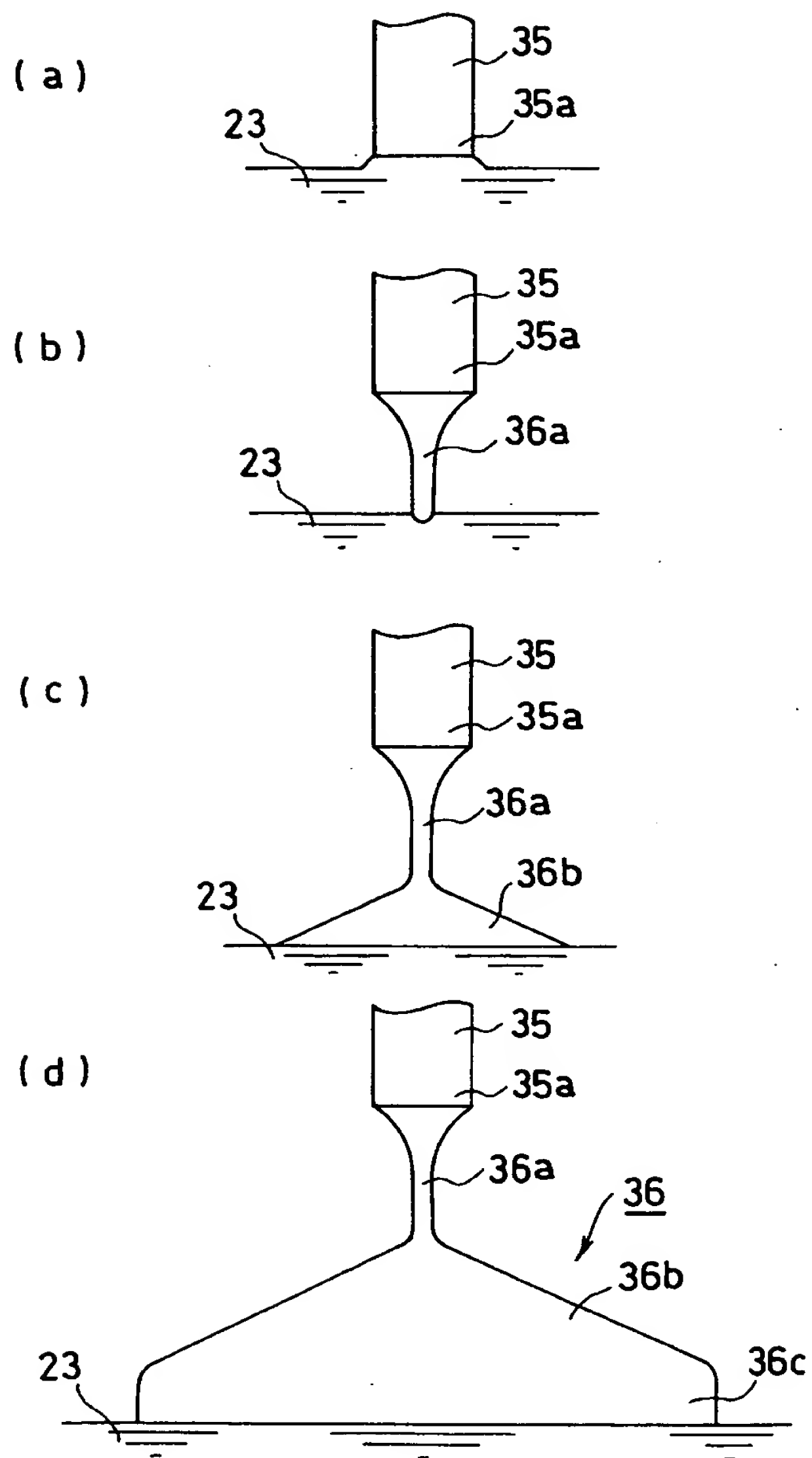
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 石英製ルツボ容積のバッチごとの変動や石英製ルツボの熱変形にかかわらず、融液面を所定の位置に保持することによって、育成される単結晶に対する不活性ガスの流れ、チャンバ内圧力、温度環境を常に一定の状態に保ち、高品質の単結晶を引き上げることができる単結晶引き上げ装置を提供すること。

【解決手段】 ルツボ昇降用モータ 1 0 と、単結晶 3 6 の引き上げに伴い減少する熔融液 2 3 の体積をもとにルツボ 2 1 の上昇速度を算出してルツボ昇降用モータ 1 0 を制御してルツボ 2 1 内の液面位置を制御する液面位置制御手段 2 0 とが装備された単結晶引き上げ装置において、チャンバ 2 9 内に配設される基準反射体 1 2 と、基準反射体 1 2 が融液面 2 3 a に写った鏡像位置をチャンバ 2 9 外に配設された二次元 CCD カメラ 1 1 にて検出することにより実際の液面位置を測定する液面位置測定手段 1 3 と、液面位置測定手段 1 3 の出力をもとにルツボ 2 1 の上昇速度の補正値を算出するルツボ上昇速度補正値算出手段 1 5 と、ルツボ上昇速度に補正値を加算する補正値加算手段 1 7 と、補正値加算手段 1 7 からの出力に基づいてルツボ昇降用モータ 1 0 を制御してルツボ 2 1 の上昇速度を制御することによりルツボ 2 1 内の液面位置を制御する液面位置制御手段 2 0 とを装備する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 1 8]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 6 日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
氏 名 住友金属工業株式会社